



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



碩士學位論文

볼록총채벌레 월동성충의  
산란모형 및 포장적합

Oviposition Model for Overwintered Females of *Scirtothrips dorsalis*  
and Its Filed Validation

濟州大學校 大學院

農學科

강 성 혁

2012年 2月



# 볼록총채벌레 월동성충의 산란모형 및 포장적합

指導教授 金 桐 淳

강 성 혁

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2011年 12月

강성혁의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

濟州大學校 大學院


2011 年 12月

## 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
 ABSTRACT .....	 1
 I. 서           론 .....	 3
 II. 연 구 사 .....	 5
 III. 재 료 및 방 법 .....	 12
1. 불록총채벌레 포장 발생조사 .....	12
1-1 2010년 조사 .....	12
1-2 2011년 조사 .....	12
2. 온도발육 실험 .....	12
2-1 월동성충 산란실험 .....	12
2-2 알 발육기간 조사 .....	13
3. 산란모형 작성 및 포장검정.....	13
3-1 산란모형 작성 .....	13
3-1-1 성충수명 완료모형 .....	14
3-1-2 온도별 총산란수 모형 .....	15
3-1-3 연령별 누적산란율 모형 .....	15
3-1-4 연령별 생존율 모형 .....	16
3-1-5 온도 및 일별 산란수 추정 .....	16
3-2 알 발육단계 전이모형 작성 .....	16
3-2-1 비선형모형 .....	16



3-2-2 비선형 발육모형 .....	17
3-2-3 발육완료시기 분포모형 .....	17
3-2-4 알 발육단계 전이모형 시뮬레이션 .....	18
3-3 산란모형의 포장적합 .....	18
3-3-1 포장적합자료 .....	18
3-3-2 일별 산란수 추정 .....	18
IV. 결 과 .....	20
1. 포장발생소장 .....	20
2. 온도별 성충의 수명과 산란수, 알 발육기간 .....	23
3. 산란모형 작성 .....	23
3-1 산란모형 구성 단위모형의 매개변수 추정.....	23
3-2 온도 및 일별 산란수 추정 .....	24
4. 알의 발육단계 전이모형 작성 .....	24
4-1 온도발육 모형의 매개변수 .....	24
4-2 알 발육단계 전이모형 모의실험 .....	24
5. 산란모형 모의실험 및 포장적합.....	35
IV. 고 찰 .....	36
V. 적 요 .....	40
VI. 인 용 문 헌 .....	42



## List of Tables

Table 1. Temperature-dependent development of <i>S. dorsalis</i> in previous studies .....	10
Table 2. Longevity and fecundity of <i>S. dorsalis</i> at various temperatures in previous studies .....	11
Table 3. Longevity and fecundity (Mean $\pm$ SE) of overwintered <i>S. dorsalis</i> females on green tea at constant temperatures .....	25
Table 4. Egg incubation period (Mean $\pm$ SE) and hatch rate of <i>S. dorsalis</i> females in green tea at constant temperatures .....	26
Table 5. Estimated parameter values for adult longevity completion rate(1/longevity), temperature-dependent total fecundity, age-specific oviposition rate, and age-specific survival rate of <i>S. dorsalis</i> .....	27
Table 6. Developmental threshold temperatures and thermal requirements for the development completion of <i>S. dorsalis</i> .....	28
Table 7. Estimated parameter values for egg development model and distribution model of development time of <i>S. dorsalis</i> .....	29



## List of Figures

- Fig. 1. Seasonal abundances of *S. dorsalis* on Abuki leaves (A) and green tea leaves (B) in Namwon, Seogwipo, and green tea leaves (C) in Hannam, Seogwipo, 2010 ..... 21
- Fig. 2. Seasonal abundances of *S. dorsalis* on green tea leaves in Hannam, Seogwipo, 2011 ..... 22
- Fig. 3. Oviposition frequency distribution of overwintered *S. dorsalis* females on leaf of green tea ..... 30
- Fig. 4. Component models for oviposition model of *S. dorsalis*. A = Adult longevity completion rate, B = Temperature-dependent total fecundity, C = Age-specific cumulative oviposition rate, and D = Age-specific survival rate ..... 31
- Fig. 5. Predicted oviposition density curves of *S. dorsalis* in relation to cohort age and temperature ..... 32
- Fig. 6. Development rate curve (A) and cumulative proportions of development completion (B) of *S. dorsalis* eggs ..... 33
- Fig. 7. Predicted emergence curves of *S. dorsalis* eggs to the next stage of 1st larvae in relation to cohort age and temperature ..... 34
- Fig. 8. Comparison of model outputs with actual field egg population of *S. dorsalis* (A). The simulation outputs and actual data were scaled as ratios against the peak numbers. Figure B indicates the number of eggs and 1st nymphs produced per day by the model ..... 35

Fig. 9. Sensitivity of model outputs to physiological age state of overwintered females of *S. dorsalis*. The physiological age was increased from 0.0 (original) to 0.4 by 0.1 scale ..... 39





## ABSTRACT

Yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae), is regarded as a key pest on citrus fruits in tropical or subtropical regions in South-East Asia, and is estimated to be increased by global warming. In Jeju Korea, the damage of this pest is expected to increase as subtropical weather condition is intensified in the future. Thus, this study was conducted to construct an oviposition model of overwintered *S. dorsalis* for the population model. The fecundity and longevity of overwintered *S. dorsalis* were examined at constant temperatures in the laboratory, and also population abundances were surveyed in the fields.

Overwintered *S. dorsalis* adults showed activity during early to late April. New adults (the 1st generation) were observed from early May to late May followed by the 2nd generation adults in June, and thereafter generations were largely overlapped. Egg populations from overwintered females occurred between early April and mid May with peak occurrence in early May. The first larval instars were first observed in late April, and they occurred until mid May.

The results of oviposition experiment for *S. dorsalis* indicated that the temperature affected adult longevity, survival, and fecundity. Overall, the longevity decreased as the temperature increased and the female adult developmental rates (1/median longevity) were well described by Eyring model, and were used to calculate the adult physiological age. The lower threshold temperature for female adults of *S. dorsalis* was estimated 9.4°C. Total fecundity was the highest at 21°C, and then declined steadily thereafter. The relationship between total fecundity and temperature was well described by a nonlinear equation. The cumulative age-specific

oviposition rate was well described by the 2-parameter Weibull function. The overall adult survival exhibited a reverse logistic curve. Three temperature-dependent components, total fecundity, age-specific oviposition rate, and age-specific survival rate, were incorporated into the oviposition model. Also, stage transition model of eggs was developed using the development rate model and distribution model of the development time of eggs. The oviposition model incorporated with the egg transition model. was simulated to predict egg population. Oviposition model simulation well described the field occurrence patterns of *S. dorsalis* egg population. However, model outputs predict the actual egg population with a 4d delay. The sensitivity analysis of model outputs was conducted by changing the physiological age of overwintered *S. dorsalis* females between 0.0 and 0.4. The results showed that fitting ability of the model outputs increased when the physiological age was subjected between 1.0 and 2.0. With a compensatory initial physiological age of 0.1645, the oviposition model could predict reasonably the egg laying time of overwintered *S. dorsalis*. Consequently, the present model should be useful for spraying time targeting on the 1st larval population in grapevines and green tea farms in early season, as well as for constructing population model of *S. dorsalis*.

## I. 서 론

볼록총채벌레(*Scirtothrips dorsalis* Hood)는 총채벌레목(Thysanoptera) 총채벌레과(Thripidae)에 속한 곤충으로 100종 이상의 식물을 가해하는 해충으로 알려져 있다(Venette and Davis, 2004) 아시아 및 호주 전지역에 분포하며 태평양 연안 섬지역, 남아공, 미국 일부지역에 분포한다(CABI, 2005; Holtz, 2006). 우리나라에서 볼록총채벌레는 토착해충으로 취급되고 있으며(Woo and Paik, 1971; Woo and Paik, 1972), 농작물에서 피해는 1993~1996년 포도에서 처음 보고되었다(Jeon et al., 2000). 제주에서는 한라산 1,400m 이하 지역의 광대수염 등 다양한 야생기주에서 채집되었고(Kwon, 1990), 감귤에서는 1996~1998년 조사에서 처음 기록되었다(Kim et al., 2000). 그 동안 감귤에 경미한 피해만 보고되다가 2006년 이후 감귤에 국부적으로 다발생하여 심한 피해를 주고 있으며 점차 피해지역이 증가하고 있다(Hyun, 2008). 즉 착색전에는 회백색의 부스럼증상 또는 진전되어 콜크화 증상을 유발하고 착색기에는 햇빛에 검붉게 그을린 듯한 증상을 유발하고 있다.

감귤원에 피해를 주는 볼록총채벌레 개체군의 공급원은 주변 야생기주식물인 것으로 알려져 있으며, 과원 잡초 등 기주식물에서 증식한 성충이 침입(이주)하여 피해를 유발되는 것으로 추정하고 있다(Ohkubo, 2001; Masui, 2007a). 볼록총채벌레 성충이 감귤원으로 침입하는 시기는 주변 야생기주에서 성충발생최성기와 거의 일치한다(Masui, 2007a). 일본 Shizuok 지역 차나무에서는 연 7~8세대 경과하는 것으로 보고되었으며(Tatara, 1994), Masui(2008)는 적산온도를 이용하여 각 발생세대의 발생최성기를 예측하는 모형을 제시한 바 있다.

볼록총채벌레와 같은 미소해충의 경우는 육안 관찰이 쉽지 않기 때문에 개체군 예찰모형은 방제를 실행하는데 유용한 수단으로 이용될 수 있다. 볼록총채벌레의 개체군 모형을 작성하는 데 있어서 월동성충의 산란생태와 그를 이용한 산란모형의 개발은 필수적이다. 하지만 아직까지 볼록총채벌레 월

동성충의 산란에 관한 연구가 이루어진 바 없다. 또한 월동성충의 난소소관에  
서 3월 하순에서 4월 상순 성숙한 알이 발견된다는 보고(Masui, 2007b)만 있  
을 뿐 월동성충의 산란시기가 구체적으로 구명되지 않았다.

블록총채벌레는 동남아시아 아열대 및 열대기후의 감귤에서 관건해충  
(key pest) 해충으로 취급되고 있으며(Smith and Pena, 2002), 지구온난화에  
따라 발생이 증가할 수 있는 해충으로 추정하고 있다(Kim et al., 2009). 향후  
지구온난화로 제주도의 아열대성 기후가 강화됨에 따라 감귤에 심한 피해를  
줄 것으로 예측되고 있다. 따라서 본 연구는 블록총채벌레 개체군 모형을 작  
성하기 위한 한 부분으로써 월동성충의 온도별 산란특성을 구명하고 산란모형  
을 작성하고자 수행하였다.

## II. 연구사

불록총채벌레(*Scirtothrips dorsalis* Hood)는 총채벌레목(Thysanoptera), 총채벌레과(Thripidae)에 속한 곤충으로 다양한 식물의 해충으로 알려져 있다. 동종이명으로 *Neophysopus fragariae* Girault, *Heliothrips minutissimus* Bagnall, *Anaphothrips andreae* Karny, *Scirtothrips dorsalis* var. *padmae* Ramakrishna 등이 기록되어 있으며 영어명은 Chilli thrips 또는 yellow tea thrips으로 불리고 있다(EPPO/CABI, 2003). 아시아, 호주 및 태평양 주변 섬 전지역에 분포하며(CABI, 2005), 남아공에서도 보고되었다(Holtz, 2006). 미국에는 1987년 처음 하와이에서 발견되었고(APHIS, 1994), 1991년과 1994년 플로리다 주에서 채집된 바 있지만 그 후 문제가 되지 않다가 2005년 텍사스와 플로리다 주에 정착한 것으로 보고하고 있다(Hodges et al., 2005; Holtz, 2006; Brown and Osbourne 2008). 기주식물은 미국의 조사에서 40과 150종이 기록되어 있으며, 주요작물은 바나나, 콩, 국화, 감귤, 옥수수, 면화, 코코아, 가지, ficus, 포도, 목초류, 호랑가시나무, 자스민, 키위, 리치, 룡간, 망고, 양파, 복숭아, 땅콩, 고추, 장미, 강남콩, 딸기, 차, 담배, 토마토, 아웨나무(Venette and Davis, 2004) 등을 포함하고 있다.

불록총채벌레는 2mm 이하의 미소해충으로 암컷의 체장은 0.8~1.0mm 내외, 수컷은 0.7~0.8mm 정도로 꽃노랑총채벌레 보다 크기가 작은 편이다. 암수 모두 황색 또는 담황색이며 날개는 흑색으로 보인다. 안테나는 8절로 1~2절은 옅은 색이며 3~8절은 암갈색이다(Seal and Klassen, 2005). 머리는 옅은 색이고 3쌍의 홑눈 자모가 있다. 자모 중 한 쌍은 뒤쪽 홑눈 사이에 존재하고, 뒤쪽 홑눈 뒷부분에 긴 한 쌍의 자모가 있다. 복부에는 제 3~8절에 암갈색의 띠가 있으며 날개는 가늘고 좁고 둘레에 가는 털이 나 있다. 다른 총채벌레류와 같이 불록총채벌레도 알, 1령 유충, 2령 유충, 전용, 용, 성충의 발육단계를 경과한다(Dev, 1964). 알은 식물의 어린 조직 속에 낳으며, 길이 0.075mm, 폭 0.070mm로 아주 작다(Seal and Klassen, 2005).

불록총채벌레는 식물체 지상부의 모든 부분을 가해하며, 어린 잎, 싹 및 과실을 선호한다. 꽃가루 섭식자(pollen feeder)이라기 보다는 식물조직을 섭식하는 습성이 있다. 피해 받은 부위는 갈색 또는 적갈색으로 변색된다. 심한 경우 잎이 위쪽으로 말리고 기형화되며, 식물체는 왜화되고 낙엽을 유발한다(Seal and Klassen, 2005).

불록총채벌레는 연간 연속적으로 발육할 수 있는 능력을 갖고 있으며, 온대지역에서 겨울철 임계온도 이하로 기온이 하강하면 대부분 비휴면 상태의 성충으로 토양층 또는 정아(apical bud)에서 월동하는 것으로 알려져 있다(Shibao et al., 1990; Okada, 1981; Okada and Kudo, 1982a). 일본 차에서 낙엽층, 가지, 토양, 잎 부위별 월동성충의 비율은 각각 64.4%, 16.2%, 12.5%, 6.6%인 것으로 보고하였다(Okada and Kudo, 1982a). 또한 생육후기 잎에서 줄기 또는 낙엽층으로 이동한 약충은 11월 내지 12월 번데기로 되며, 적어도 다음해 2월 이전 번데기로 되고 이 상태로 월동이 가능하였다(Okada and Kudo, 1982a). 월동성충은 봄철 기온이 따뜻해지면 활동을 시작하는데, 일본 차나무에서 조사된 자료에 따르면 월동성충은 3월 하순경 잎으로 이동하였고, 4월말에는 대부분 사망하며 극히 일부는 5월 중순까지 생존한다고 보고되었다(Okada and Kudo, 1982a). Masui(2007b)는 차에서 월동성충의 난소소관에서 3월 하순에서 4월 상순 성숙한 알이 발견되었으며, 1세대 유충은 4월 하순에서 5월 상순 발생한다고 하였다. 또한 새로운 성충은 5월 중순부터 나타나기 시작한다고 하였다. 그 후 2세대 유충은 5월 하순에서 6월 상순 나타난다. Tataru(1994)는 월동세대 성충을 포함하여 3세대 성충까지는 뚜렷하게 구분되며 4세대부터는 중복되어 잘 구분되지 않는다고 하였다. 일본 Shizuok 지역 차나무에서는 연 7~8세대 경과하는 것으로 보고되었으며(Tataru, 1994), Masui(2007a)는 5월부터 9월 상순까지 나한송, 차, 배과원 등에서 6 또는 7개의 발생최성기가 나타난다고 하였다.

일본의 경우 감귤원에서 불록총채벌레 피해는 주변 기주식물에서 증식한 성충이 침입(이주)하여 유발되는 것으로 추정하고 있다(Ohkubo, 2001;

Masui, 2007a). 불룩총채벌레는 주로 신초가 발생하는 시기에 번식하기 때문에 차나무와 같이 연속적인 수확을 통하여 신초가 계속 자라나는 기주식물은 좋은 서식처가 되며, 나한송의 경우도 신초가 발생하는 시기에 일시적으로 개체군이 증가하는 경향을 보인다(Masui, 2007a.). 이런 이유로 감귤원 주변의 불룩총채벌레 기주식물인 차, 나한송 등에서는 유충개체군이 형성된 이후에 성충 개체군이 증가하는 양상을 보인다. 그러나 감귤원에서는 유의한 유충 개체군의 형성 없이 주변 기주식물의 성충발생시기와 거의 일치하여 성충 개체군이 형성되는 양상을 보인다(Masui, 2007a). 또한 감귤(만다린)을 기주식물로 불룩총채벌레가 정상적으로 번식할 수 없다는 사실도 침입에 의한 피해를 뒷받침한다. 아왜나무와 차에서는 25℃ 조건에서 성충의 수명이 각각 23.7일과 27.5일로 각각 41.5개와 27.0개의 알을 생산하였으나, 감귤 잎에서는 성충의 수명이 4.0일로 감소하였고, 평균 1.4개의 알을 낳은 것으로 보고되었다(Tatara, 1994). 실제 포장조건에서 감귤 신초와 과실의 불룩총채벌레 성충과 유충 개체군을 조사한 결과 유충밀도는 성충밀도보다 현저히 낮았다(Tsuchiya and Nishino, 1984). 즉 감귤원 유충개체군이 성충개체군의 공급원이 아니라 반대로 유입된 성충의 낮은 산란능력으로 인하여 유충 개체군이 낮게 형성된 것으로 해석할 수 있다. 미국 플로리다 주에서 대발생하여 긴급 조사한 기주식물 목록에는 감귤류를 2차 기주식물로 취급하고 있다(Nietschke et al., 2008). 불룩총채벌레의 감귤원으로 이동을 유발하는 기작에 대한 원인은 아직 밝혀지지 않았으며, 다만 주변기주식물에서 밀도증가와 관련된 것을 보고 있다(Masui, 2007a). 또한 불룩총채벌레 비산은 바람의 방향과 밀접히 관련되어 있으며 이른 아침에 비산하여 해질 무렵까지 지속된다고 하였다(Unpublished data: A. Derksen, 2009).

기존 보고된 불룩총채벌레의 온도별 발육기간은 표 1과 같다. 기주식물로 아왜나무를 이용한 경우 처리온도 범위 중 29.5℃에서 알이 부화하여 성충이 되기까지 기간이 13.4일로 가장 짧았으며, 14.5℃에서 48.3일로 가장 길었다(Tatara, 1994). 발육하한온도와 상한온도는 각각 9.7℃와 32℃이었고, 유효

적산온도는 약 265일도(DD, degree-days)로 추정되었다. 포도나무를 기주식물로 이용한 경우 아왜나무와 비교하여 알기간은 짧은 경향이었으나 유충기간은 더 증가하는 경향이였다(Shibao, 1996). 발육단계별 발육영점온도와 발육완료에 필요한 적산온도는 각각 알 9.5℃와 119DD이었고, 알-성충 기간 발육영점온도와 적산온도는 8.5℃와 294.1DD로 아왜나무에서 얻은 결과와는 차이가 있었다. 또한 앞서 Dew(1964)는 차에서 산란부터 성충우화까지 발육기간이 25℃에서 17.2일, 30℃에서 13.5일이라고 보고하였고, Raizada(1965)는 피마자를 기주식물로 27~28℃ 조건에서 전체 발육기간이 16.9일이라고 하였다.

기존 보고된 볼록총채벌레의 온도별 수명과 산란수 자료는 표 2과 같다. 아왜나무에서 산란수는 실험온도 범위 중 비교적 저온인 19℃에서 49개로 가장 많았으며, 29.5℃에서는 33개로 가장 적었다(Tatara, 1994). 성충 수명은 14.5℃에서 54.7일로 길었고, 29.5℃에서는 20.7일로 짧았다. 기주식물별로 산란수와 산란수는 앞에서 언급한 바와 같이 큰 차이가 있었다.

볼록총채벌레의 상한치사온도와 관련하여 알의 경우 33℃에서 유충과 성충은 생존이 가능하였으나 알은 부화 후 생존하다가 유충기 모두 사망하였다(Tatara, 1994). 또한 34.5℃에서는 유충이 6일 이내 모두 사망하였으며, 성충은 10일까지도 사망하는 개체수가 없었다. 더 높은 온도인 36℃와 37℃에서 성충은 각각 4일과 3일 이내 모두 사망하였다. 고온인 38.5℃에서 유충은 3일 이내, 성충은 1일 이내 모두 사망하였다. 저온치사온도와 관련하여 -1~-2℃ 조건에서는 유충과 성충 모두 12시간 후까지 사망개체수가 없었으나, -5℃에서 5시간 후 유충은 16.7%, 성충은 13.3% 사망하였다.

포장조건에서 적산온도와 볼록총채벌레 성충 발생최성기와는 일정한 관계가 있었는데 일본 감귤원에서 발육영점온도 9.7℃를 적용하는 경우 월동세대 성충은 60~90DD, 1세대 성충은 400~460DD, 3세대 성충은 700~750DD에 발생최성기가 나타났으며, 1,000DD 이후에는 세대가 중복되어 구분되지 않았다(Tatara, 1994). 일본 포도원에서 발육영점온도 8.5℃를 적용한 경우 월동성충 첫 출현은 250DD에 관찰되었으며 1세대 성충은 500~600DD(550DD), 2



세대 성충은 750~900DD(850DD)에 발생최성기가 나타났다(Shibao, 1996). 또한 Masui(2008)는 발육 하한 및 상한온도로 각각 9.7°C와 33°C 적용시 발생세대수(x)에 따른 적산온도(y)는 'y=70.67+314.92x'의 관계가 있었으며, 실측자료와 잘 일치한다고 하였다.

볼록총채벌레는 동남아시아 아열대 및 열대기후의 감귤에서 관건해충(key pest) 해충으로 취급되고 있으며(Smith and Pena, 2002), 지구온난화에 따라 발생이 증가할 수 있는 해충으로 추정하고 있다. 즉 볼록총채벌레의 내적자연증가율은 서식처 온도가 29.5°C로 증가할 때까지 계속 증가하는 양상을 보였으며, 최적온도가 24.9°C로 추정된 꽃노랑총채벌레와 비교하면 고온에 잘 적응한 종으로 예측되었다(Kim et al., 2009). 미국에서 발육영점온도와 적산온도로 각각 9.7°C와 265DD를 적용하고, 일 최저온도 -4°C 이하에서 5일 이상 경과시 100% 치사조건으로 가정했을 때 미국 일부지역에서는 최대 연 18세대까지 발육이 가능하였다(Nietschke et al., 2008). 결론적으로 미국 기후조건에서 남부지역과 서부해안지역에 정착이 가능한 것으로 추정하였다.

우리나라에서 볼록총채벌레는 토착해충으로 평가된다. 즉 1970년 전국조사에서 채집되었을 때 미기록 종으로 취급되지 않았다(Woo and Paik, 1971; Woo and Paik, 1972). 농작물에서 피해는 1993~1996년 포도에서 처음 보고되었으며, 포도의 잎에 수침상 갈변증상과 과방에 동녹(콜크화)증상을 유발하는 것으로 알려졌다(Jeon et al., 2000). 제주에서는 한라산 1,400m 이하 지역의 고추나물, 팥대수염, 들수국, 마가목, 뽕나무, 사철나무, 참배, 탐라산수국, 팔배나무 등에서 공식적으로 채집되었다(Kwon, 1990). 감귤에서는 1996~1998년 조사에서 공식적으로 기록되었으며 감귤을 새로운 기주식물로 등록하였고, 과실에 경미한 피해를 주는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2000). 하지만 2006년 이후 감귤에 국부적으로 다발생하여 심한 피해를 주고 있으며 점차 피해지역이 증가하고 있다(J.W. Hyun, personal communication). 향후 온난화에 따라 제주도의 아열대성 기후가 강화됨에 따라 감귤에 심한 피해를 줄 것으로 예측되고 있다.

Table 1. Temperature-dependent development of *S. dorsalis* in previous studies.

Temperature (°C)	Host plant	Egg	Nymph	Pupae	Total	Reference
14.5	Sweet viburnum	26.8	13.0	8.7	28.3	Tatara (1994)
16	Grape	17.2	12.4	9.9	39.5	Shibao (1996)
17	Sweet viburnum	21.3	9.8	7.3	38.5	Tatara (1994)
19	Sweet viburnum	16.0	8.1	4.1	28.2	Tatara (1994)
20	Grape	12.0	8.1	6.5	26.6	Shibao (1996)
22	Sweet viburnum	12.7	7.0	4.5	23.2	Tatara (1994)
25	Sweet viburnum	10.5	5.6	2.6	18.6	Tatara (1994)
25	Grape	7.6	6.4	4.4	18.4	Shibao (1996)
29.5	Sweet viburnum	7.2	3.7	2.3	14.4	Tatara (1994)
30	Grape	5.8	4.4	3.7	13.9	Shibao (1996)

Table 2. Longevity and fecundity of *S. dorsalis* at various temperatures in previous studies.

Temperature (°C)	Host plant	Longevity (days)	Pre-oviposition (days)	Fecundity (Egg/female)	% egg hatch	Reference
14.5	Sweet viburnum	54.7	4	46	85.7	Tatara (1994)
19	Sweet viburnum	29.3	1	49	80.9	Tatara (1994)
25	Sweet viburnum	23.7	1	41.5	95	Tatara (1994)
25	Green tea	27.5	- <sup>1</sup>	27.0	-	Tatara (1994)
25	Satsuma mandarin	4.0	-	1.4	-	Tatara (1994)
29.5	Sweet viburnum	20.7	1	33	100	Tatara (1994)

<sup>1</sup>No available data.

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 불룩총채벌레 포장 발생조사

##### 1-1. 2010년 조사

서귀포시 농업기술센터에 위치한 녹차와 아왜나무, 남원읍 한남리 장원산업 한남다원(녹차)에서 연간 불룩총채벌레 발생밀도를 조사하였다. 조사기간은 3월 둘째주부터 12월 둘째주까지로 매주 1회 실시하였으며, 조사시기에 따라 20~40개 가지(가지당 4잎)를 무작위로 채취하였다. 채취한 시료는 종이 봉지가 들어있는 비닐 지퍼백(30 x 20cm)에 담아서 실험실로 옮긴 후 타락법으로 불룩총채벌레 성충 및 약충의 수를 확인하였다.

##### 1-2. 2011년 조사

서귀포 남원읍 한남리 장원산업의 한남다원(녹차)에서 연간 불룩총채벌레 발생밀도를 조사하였다. 조사기간은 3월 중순부터 11월 하순까지로 매주 1회 조사하였으며, 조사시기 마다 20개 가지(가지당 4잎)를 무작위로 채취하였다. 채취한 시료는 곤충사육용기(10 x 4.5cm)에 담아 실험실에서 타락법을 이용하여 불룩총채벌레 성충 및 약충의 수 조사하였다. 또한 추가로 현미경(25~40x)을 이용하여 녹차 잎 조직에 있는 알 수를 조사하였다.

#### 2. 온도발육 실험

##### 2-1. 월동성충 산란실험

실험곤충은 2011년 3월 23일부터 3월 28일 사이에 제주특별자치도 서귀포시 남원읍 신례리에 있는 비가림 키위하우스에서 채집하였다. 불룩총채벌레 성충이 존재하는 잡초와 낙엽을 채취하여 지퍼백 담아서 실험실로 옮긴 후 성충을 분리하였다. 실험에 이용할 때까지 분리한 성충을 녹차신초를 제공한 페트리디쉬에 넣어 냉장고(4~6℃)에 보관하였다.

냉장고에 넣어 보관 후 볼록충채벌레 성충만을 따로 분류하여 3월 29일 각 온도별로 insect디쉬에 녹차신초를 넣어 접종을 하였다.

산란실험에 필요한 녹차 신초 잎은 2월 하순과 3월 상순 사이에 제주특별자치도 서귀포시 남원읍 한남리에 있는 한남다원에서 채취한 녹차가지를 이용하여 마련하였다. 즉 잎이 없는 눈(잎눈) 상태의 가지를 채취하여 20개 정도의 잎눈을 남기고 적당히 자른 후 물에 씻어서 새로 나오는 잎을 이용하였다. 잎이 나오는 속도를 조절하기 위하여 13, 17, 21 및 25℃ 등 다양한 조건에 가지를 보관하였다.

산란실험을 위한 장치는 잎을 한 장씩 남기고 녹차 가지를 자른 다음 가지 아랫부분에 물을 적신 솜을 감고 은박지와 파라필름으로 감싸서 마르지 않도록 마련하였다. 최종적으로 녹차 가지를 여과지를 깔 페트리디쉬(직경 95 mm, 높이 40 mm)에 넣어서 온도별 처리하였다.

녹차 잎을 공급한 페트리디쉬에 볼록충채벌레 암수 1쌍을 접종하고 13, 17, 21, 25, 29 및  $33 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 설정된 항온기에 2011년 3월 29일에서 4월 5일 사이에 처리하였다. 온도별 20 반복으로 수행하였으며 조기에 사망한 개체는 분석에서 제외시켰다. 처리 후 다음날부터 매일 해부현미경(25~40x)을 이용 산란여부를 조사하였다. 녹차 잎은 조사시기 마다 새로운 잎으로 교환하였다.

## 2-2. 알 발육기간 조사

알 발육기간 조사는 산란실험 과정에서 얻은 알을 이용하여 동일한 온도조건에서 실시하였다. 매일 부화여부 조사하였으며 다만 저온(13℃)에서는 2일 간격으로 조사하였다.

## 3. 산란모형 작성 및 포장검정

### 3-1. 산란모형 작성

곤충의 산란모형(생식모형)은 온도별 총산란수, 연령별 산란율, 연령별 생존율 등 3개의 단위모형으로 구성할 수 있다(Curry and Feldman, 1987;

Kim and Lee, 2003a). 이때 변온조건에서 산란율 및 생존율 모형을 구현하려면 온도 의존적인 성충의 연령(즉 일령, 日齡)을 온도와 독립적인 생리적 연령으로 변환시켜야한다. 본 연구에서는 굴응에 성충수명의 역수 값을 성충발육율(성충수명 완료율)로 취급하여 성충의 생리적 연령 추정에 이용하였다.

### 3-1-1. 성충수명 완료모형

**선형모형.** 블록총채벌레 월동성충의 수명에 역수(1/수명)를 취하여 성충 발육율로 취급하였다. 결과적으로 이 값은 성충 수명완료율을 나타낸다. 성충의 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도를 추정하기 위하여 온도와 발육률(1/발육기간) 간의 직선회귀식을 구하였다.

$$r(T) = aT + b \quad \text{--- 식 1}$$

여기서  $r(T)$ 는 온도  $T$ 에서 알 발육율이며,  $a$ 는 기울기,  $b$ 는 직선의 절편이다.

이 식으로부터 발육률이 0이 되는 온도를 추정하여 발육영점온도를 구하였다( $-b/a$ ). 성충 수명완료에 필요한 적산온도는 추정된 회귀식 기울기의 역수 값( $1/a$ )으로 구하였다.

**비선형모형.** 온도( $T$ )와 성충 발육율(1/성충수명,  $r(T)$ ) 간 관계는 Curry and Feldman (1987)이 개선시켜 변형한 Eyring 모형(식 2: Eyring, 1935)을 이용하여 추정하였다. 본 모형은 온도 증가에 따라 성충수명이 감소하는 특성을 기술하는데 적합하였다.

$$r(T) = \alpha \cdot T \cdot \exp(-\beta/T) \quad \text{--- 식 2}$$

여기서  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 추정해야할 매개변수이며, 이 식을 이용하여 성충의 생리적 연령( $P_x$ )을 다음과 같이 계산하였다.

$$P_x = \int_0^n r(T_i) \approx \sum_{i=0}^n r(T_i) \quad \text{--- 식 3}$$

여기서  $P_x$ :  $n$  번째 일(발육기간)에서 생리적 연령,  $r(T_i)$ :  $i$  번째일 온도에서 성충 발육율을 나타낸다.

매개변수 값은 TableCurve 2D 프로그램(Jandel Scientific, 1996)을 이용하여 추정하였으며, 이하 모든 수식의 매개변수도 이 프로그램을 이용하였다.

### 3-1-2. 온도별 총산란수 모형

본 모형은 온도에 따른 암컷 성충이 평생 동안(수명기간) 낳을 수 있는 총 알 수(자식 수)의 분포를 나타낸다. 온도와 총산란수의 관계를 나타내는데 있어서 아직까지는 생물학적 의미를 갖고 있는 수식(모형)은 없는 상태이며 경험적인 비선형식 또는 다항회귀식을 이용하고 있다(Richards, 1959; Hilbert and Logan, 1983; Shaffer and Gold, 1985; Allen et al., 1995; Kim and Lee 2003a, 2003b). 본 연구에서는 경험적인 비선형발육모형인 Gaussian 모형(Taylor, 1981; 식4)를 이용하여 적합시켰다.

$$y = a \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right] \text{--- 식 4}$$

여기서 온도  $x$  및 총산란수  $y$ 에서 매개변수  $a$  = 최대 산란수,  $b$  = 최대 산란수를 보이는 온도가 되며,  $c$  = 총산란수 곡선의 분포를 조절하는 매개변수를 나타낸다.

### 3-1-3. 연령별누적산란율 모형

연령별 누적산란율(age-specific cumulative oviposition rate)은 수명기간 동안 총 산란능력(산란수) 중에서 어느 특정 연령시기까지 산란하는 알 수의 누적비율을 의미한다. 지금까지 곤충 개체군 모형에서는 감마분포식이나 다항회귀식 등이 많이 이용되었다(Mack et al., 1987; Mack and Smith Jr, 1992). 본 연구에서는 3개의 매개변수를 갖고 있는 Weibull 함수(Wagner et al., 1984)를 이용하여 추정하였다.

$$p(Px) = 1 - \exp(-[Px/\kappa]^\eta) \text{--- 식 5}$$

여기서  $\kappa, \eta, \tau$ 는 추정해야할 매개변수이며, 성충의 수명을 생리적 연령( $Px$  식 3)으로 변환시키고 이에 대응하는 연령별 누적산란율( $p(Px)$ )을 계산하여 수식(모형)의 매개변수 값을 추정하였다. 각 온도에서 생리적 연령에 대응하는 누적산란율은 일별 산란수를 누적하여 각각을 총 산란수로 나누어 얻었다. 이런 과정을 거쳐서 온도에 따른 산란곡선의 변이를 표준화시켜 온도와 독립적인 누적산란율 곡선을 얻을 수 있었다.

### 3-1-4. 연령별 생존율 모형

연령별 누적생존율(age-specific survival rate)은 갖 우화한 어떤 성충 집단이 시간이 경과하여 어느 연령에 도달했을 때 살아있는 개체수의 비율이다. 지금까지 곤충의 연령별 생존율을 표현하기 위하여 지수함수(Birley 1977), Gompertz 함수(Clements and Paterson, 1981; Readshaw and Van Gerwen, 1983), Weibull 함수(Bartlett and Murray, 1986; Madden et al., 1986) 등이 이용된바 있다. 본 연구에서 시그모이드 모형을 이용하였다(식 6: Kim and Lee, 2003a).

$$s(Px) = \frac{1}{1 + \exp[(\gamma - px)/\delta]} \quad \text{--- 식 6}$$

여기서  $s(Px)$  = 생리적 연령  $Px$ 에서 생존율,  $\gamma = 50\%$  생존율에 대응하는 생리적 연령,  $\delta$  = 매개변수이며, 성충의 수명을 생리적 연령( $Px$ , 식 3)으로 변환시키고 이에 대응하는 연령별 생존율( $s(Px)$ ) 값을 이용하여 수식(모형)의 매개변수 값을 추정하였다. 어느 생리적 연령에 대응하는 생존율은 그때까지 생존수를 처음 개체수로 나눈 값으로 표현된다.

### 3-1-5. 온도 및 일별 산란수 추정

단위모형인 온도별 총산란수( $f(Tc)$ ), 연령별 산란율( $p(Px)$ ), 연령별 생존율( $s(Px)$ ) 등 3개의 온도 의존적 함수를 이용하여 일별 산란수를 추정하였다. 즉 어떤 온도에서 암컷 성충의 생리적 연령  $Px_i$ 와  $Px_{i+1}$  사이에 생산한 알수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f(Tc) [p(Px_{i+1}) - p(Px_i)] \frac{s(Px_i) + s(Px_{i+1})}{2} \quad \text{--- 식 7}$$

여기에 총성충수, 성비 등을 추가하게 되면 어떤 일정 조건에서 총 산란수를 추정할 수 있게 된다.

## 3-2. 알 발육단계 전이모형 작성

### 3-2-1. 비선형모형(발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도 추정)

불록총채벌레 알의 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도를



추정하기 위하여 각 온도의 발육기간에 역수(1/발육기간)를 취하여 발육율을 얻었으며, 온도와 발육률(1/발육기간) 간의 직선회귀식을 구하였다.

$$r(T) = aT + b \quad \text{--- 식 8}$$

여기서  $r(T)$ 는 온도  $T$ 에서 알 발육율이며,  $a$ 는 기울기,  $b$ 는 직선의 절편이다.

이 식으로부터 발육률이 0이 되는 온도를 추정하여 발육영점온도를 구하였다( $-b/a$ ). 알 발육단계 발육완료에 필요한 적산온도는 추정된 회귀식 기울기의 역수 값( $1/a$ )으로 구하였다. 회귀분석시 고온영역에서 발육률이 감소하는 온도는 분석에서 제외하였다.

### 3-2-2. 비선형 발육모형

볼록총채벌레 알의 온도와 발육률 간의 관계를 경험적인 비선형발육모형인 Lactin 2(Lactin *et. al.*, 1995) 모형을 사용하여 추정하였다.

$$r(T) = e^{\rho T} - e^{[\rho T_{max} - (T_{max} - T)/\Delta]} + \lambda \quad \text{--- 식 9}$$

여기서  $r(T)$ 는 온도  $T$ 에서 알 발육율이며,  $T_{max}$ 는 추정된 상한치사온도,  $\lambda$ 는 저온영역에서 수렴하는 최소 발육률 값을 나타내고,  $\rho$ 와  $\Delta$ 는 곡선의 높이와 모양을 조절하는 매개변수이다.

### 3-2-3. 발육완료시기 분포모형

볼록총채벌레 알 발육완료기간의 변이는 3개의 매개변수를 갖고 있는 Weibull 함수(Kim and Lee., 2003a, 2003b)를 이용하여 적합시켰다.

$$F(x) = 1 - \exp(-[(x)/\omega]^\epsilon) \quad \text{--- 식 10}$$

여기서  $F(x)$ 는 알 생리적 연령  $x$ 에서 발육을 완료하는 알 수의 누적 비율이며,  $\omega, \epsilon$ 는 매개변수이다.

Weibull 함수의 매개변수를 추정하기 전 실험자료는 생리적 연령에 대응하는 발육을 완료하는 개체수들의 표준화된 누적빈도분포로 변환시켰다. 알 발육단계를 예로 설명하면, 어떤 처리온도에서 얻은 각 발육기간에 대한 빈도분포를 작성하고 이 빈도수를 누적하여 누적빈도분포를 만들었다. 표준화된 누적빈도분포는 어떤 계급(발육기간)에 대응하는 누적빈도수를 총 개체수로 나누어서 얻었다. 이러한 방법으로 각 온도별 표준화된 누적빈도분포를 구하였다(각 온도의 누적빈도분포는 0~100% 범위의 분포로 표준화됨). 온도에

독립적인 누적빈도분포를 얻기 위하여 식 3과 같이 일별 발육기간을 생리적 연령(비선형 발육모형 이용)으로 변환시켰다(Curry and Feldman, 1987; Kim et al., 2001). 따라서 각 온도의 누적빈도분포는 동일한 생리적 연령에 대응되었다. 알의 생리적 연령은 성충의 생리적 연령을 계산하는 방법과 동일한 방식으로 알의 발육률을 누적하여 추정하였다.

### 3-2-4. 알 발육단계 전이모형 시뮬레이션

발육률 적산을 통한 발육단계 전이모형은 어떤 발육단계 상태에 있는 집단(cohort) 중에서 다음 발육단계로 전이되는 개체수들의 비율을 추정한다. 알 발육모형과 발육완료시기 분포모형을 이용하여 알 발육단계에서 약충 발육단계로 전이모형을 작성하였다(Curry and Feldman, 1987; Wagner et al., 1985). 즉 알 발육단계 집단의 생리적 연령  $i$ 와  $i+1$  사이에 약충(1령충) 발육단계로 전이되는 개체수의 비율은 다음과 같이 계산하였다.

$$F(Px_{i+1}) - F(Px_i) \quad \text{--- 식 11}$$

여기서  $Px$ 는 알 발육률의 누적값으로 추정된 알의 생리적 연령을 나타낸다.

## 3-3. 산란모형의 포장 적합

### 3-3-1. 포장적합자료

포장 적합자료는 2011년 조사된 알 발생자료를 이용하였다. 예측값과 비교를 위하여 최고값을 중심으로 표준화시켰다.

### 3-3-2. 일별 산란수 추정

블록충채벌레 월동개체군의 크기를 정확하게 결정할 수 없기 때문에 산란모형 구동을 위한 초기 값은 모두 동일한 생리적 연령 상태( $Px = 0$ )에 있는 단일 집단의 100마리 월동성충으로 입력하였다. 산란수에 영향을 미치는 주요 환경요인은 온도만이 관여하는 것으로 가정하였으며, 1월 1일부터 포장 자료를 수집한 장소에서 가장 가까운 표선지역에서 측정된 제주 기상청 기상 자료의 평균 대기온도자료를 이용하였다(기상청, 2011). 또한 성충의 발육영점

온도인 9.4℃를 적용하여 아래와 같이 1일 단위 순차적으로 모형을 구동하였다.

첫째, 주어진 날(생리적 연령)에서 성충의 총 산란수(평생 산란수, 즉 온도별 총산란수 모형 적용)를 계산하였다. 성충의 산란능력은 당일의 온도에만 영향을 받는 것이 아니라 경험한 온도의 영향을 받을 수 있기 때문에 이것을 보정하고자 지나간 5일 동안의 평균온도를 이용하였다. 둘째, 해당일 1일 동안의 산란할 수 있는 산란비율을 연령별누적산란율 모형을 이용하여 계산하였다. 이 값은 해당일의 생리적 연령에서 누적산란율을 구하고 여기서 전날의 생리적 연령에서 누적산란율을 감하여 추정하였다. 셋째는 해당일까지 생존한 성충수를 생존율 모형을 이용하여 계산하였다. 이렇게 세 가지 추정값 즉 총산란수, 산란비율, 생존성충수를 곱하여 주어진 날에 나타난 알 수를 추정하였다. 포장조사 자료와 비교하기 위해서는 산란된 알 중에서 약충으로 부화되지 않고 남아있는 알 수만을 추정하는 것이 필요하다. 따라서 산란된 알을 1일 단위의 집단으로 분리하고, 알 발육단계 전이모형을 이용하여 각각 약충 발육 단계로 전이되는 수를 감하였다.

## IV. 결 과

### 1. 포장발생소장

블록충채벌레 포장발생 2010년 조사에서는 녹차와 아왜나무 모두 4월 상순부터 월동성충이 발견되기 시작하였다(그림 1). 이 월동성충은 서귀포시 남원읍에서는 비교적 뚜렷하게 4월 하순까지 밀도가 유지되었다(그림 1A와 B). 성충의 두 번째 발생최성기는 5월 상순에서 하순사이에 나타났다. 세 번째 발생최성기는 뚜렷하지는 않으나 6월에 나타났고 그 이후에는 세대가 심하게 중복되어 나타났다. 첫 번째 유충발생은 6월 상순경에 발견되었다.

2011년 녹차 조사한 결과는 그림 2와 같았다. 월동성충이 2010년 보다 늦게 나타나기 시작하였으며, 월동성충이 생산한 알 개체군은 4월 상순에서 5월 중순에 나타났으며 5월 상순이 발생최성기를 보였다. 그 후 6월 중순, 7월 하순 및 8월 하순에 뚜렷한 봉우리(고봉)가 나타났다. 첫 번째 1령 유충은 4월 하순(4월 28일) 발견되었고 5월 중순까지 보였다. 두 번째 봉우리까지 알과 1령 유충의 최성기는 거의 비슷하였다. 하지만 2령 유충의 발생은 1령 약충의 발생시기보다 약 2~3주 지연되어 나타났다.

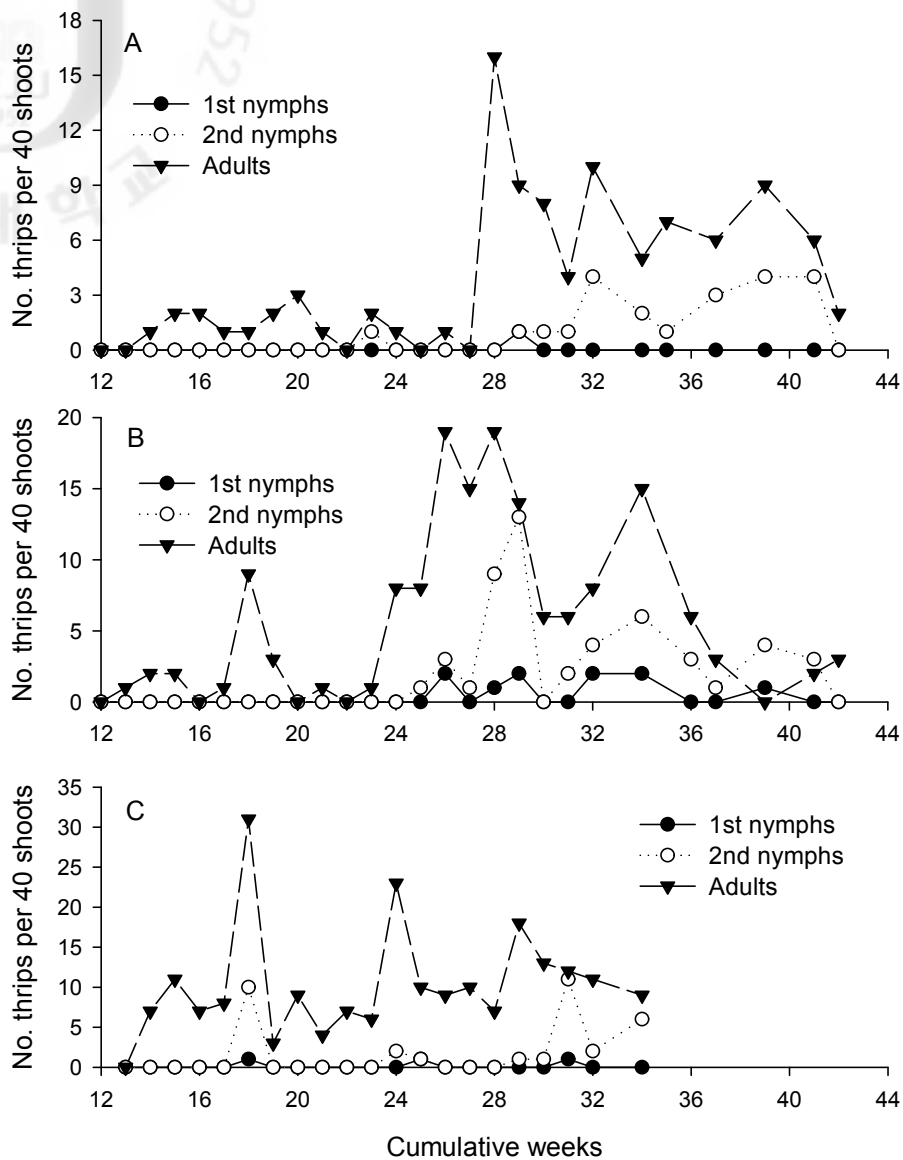


Fig. 1. Seasonal abundances of *S. dorsalis* on Abuki leaves (A) and green tea leaves (B) in Namwon, Seogwipo, and green tea leaves (C) in Hannam, Seogwipo, 2010.

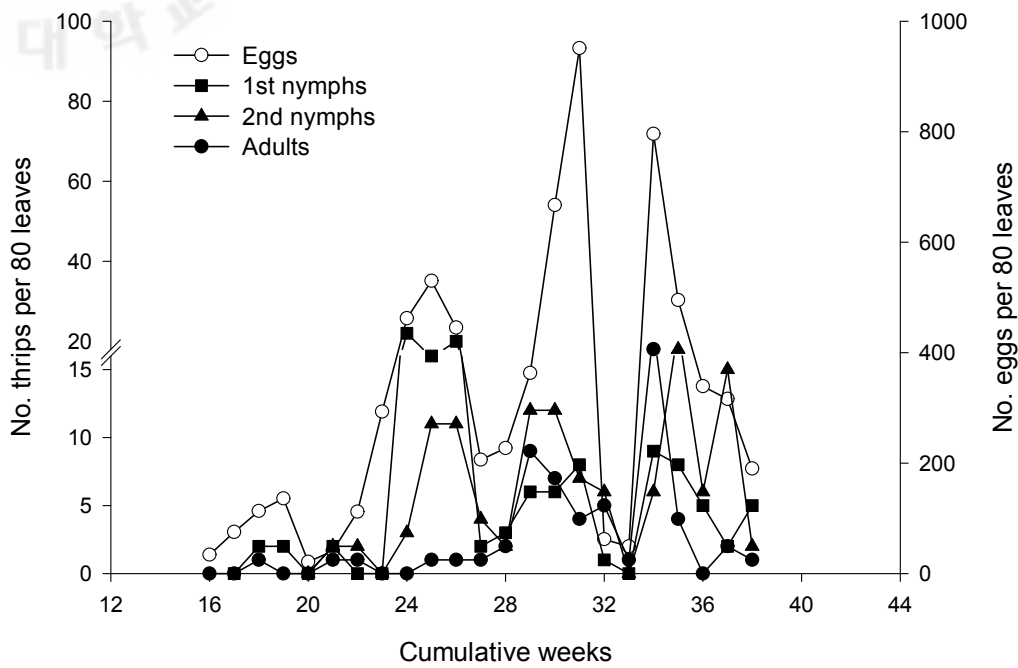


Fig. 2. Seasonal abundances of *S. dorsalis* on green tea leaves in Hannam, Seogwipo, 2011.

## 2. 온도별 성충의 수명과 산란수, 알 발육기간

블록총채벌레 월동성충의 수명은 온도가 증가할수록 감소하였다(표 3). 처리 온도중 13℃에서 가장 짧았으며, 저온인 13℃에서는 33℃와 비교하여 약 4.5배 길었다. 산란수는 21℃에서 최고값을 보였고, 이를 정점으로 양쪽부위의 온도 구간에서는 감소하였다. 처리온도 중 저온인 13℃와 고온인 33℃에서 산란수는 각각 최고 산란수의 60.0%와 26.4%로 적었다(표 3). 일별 산란빈도수는 그림 3과 같았다. 가운데처리 다음 날부터 산란을 시작하여 연령이 증가함에 따라 산란수가 증가하다가 최고점을 지나서 감소하는 양상을 보였고, 그 양상은 고온에서 더 뚜렷하였다.

알 발육기간은 처리온도 중 29℃에서 가장 짧았으며, 이 온도까지는 감소하다가 고온인 33℃에서는 약간 증가하였다. 저온인 13℃에서는 발육기간이 28.4일로 29℃에 비하여 5.5배 길었다. 알 부화율은 고온인 33℃에서는 50% 이하로 낮았으나 다른 온도에서는 대부분 95% 이상으로 높았다.

## 3. 산란모형 작성

### 3-1. 산란모형 구성 단위모형의 매개변수 추정

성충 발육율(수명 완료율)과 온도와의 관계는 그림 4의 A와 같이 온도의 증가에 따라 지속적으로 증가하였으며, 경험적인 비선형모형(Eyring 모형)으로 잘 설명되었다(표 5,  $R^2 = 0.99$ ). 추정된 매개변수 값은 표 5와 같았으며, 이 모형을 이용하여 성충의 생리적 연령을 계산하였다(식 3). 성충의 발육 영점온도는 9.4℃, 성충수명 완료에 필요한 적산온도는 283.4일도(DD)로 추정되었다(표 6).

블록총채벌레 월동성충 산란모형을 구성하는 단위모형의 형태와 추정된 매개변수 값은 각각 그림 4와 표 6과 같았다. 온도별총산란수 모형은 그림 4의 B와 같았으며, 약 21.8℃(매개변수  $b$ )에서 최대 산란수인 52.1(매개변수  $a$ )개를 보였다(표 5). 블록총채벌레 월동성충의 생리적 연령에 따른 연령별누적 산란율은 그림 4의 C와 같이 시그모이드 형으로 증가하였고, 생리적 연령 0.5342(매개변수  $\kappa$ )에서 50%의 산란을 완료하였다. 블록총채벌레의 연령별 생

존율은 처음에는 사망률이 서서히 증가하다가 중간연령에서는 급격히 증가하였고 그 후 다시 서서히 증가하였으며, 생리적 연령 0.9999(파라미터  $\gamma$ )까지 50%의 성충이 생존하였다.

### 3-2. 온도 및 일별 산란수 추정

온도와 성충연령을 두 변량으로 하는 블록층채벌레 월동성충의 산란 밀도곡선은 그림 5와 같았다. 저온에서는 낮고 넓은 단면을 나타냈고, 온도가 증가함에 따라 단면이 높아지면서 좁아졌다. 최적이후 고온 영역에서는 단면의 높이가 낮아지면서 폭은 더 좁아졌다.

## 4. 알의 발육단계 전이모형 작성

### 4-1. 온도발육 모형의 매개변수

알의 발육영점온도는 9.8°C, 알 발육완료에 필요한 적산온도는 101.5일도(DD)로 추정되었다(표 6). 알의 발육율과 발육완료분포 모형의 형태 및 추정된 매개변수 값은 각각 그림 6와 표 7과 같았다. 온도와 알 발육율(발육속도, 1/발육기간)과의 관계(그림 6의 A)는 온도가 증가함에 따라 29°C까지는 발육율이 증가하였으며, 그 이상 온도에서는 감소하는 비대칭 고봉형 곡선을 나타냈다. 알 발육완료시기의 누적분포(그림 6의 B)는 처음에는 서서히 증가하다가 평균발육기간 지점 양쪽에서는 급격히 증가하였고, 그 이후에는 다시 완만하게 증가하였다.

### 4-2. 알 발육단계 전이모형 모의실험

온도와 시간(일)에 따라 임의의 각 알 집단(개체수: 100개)이 제 1약층으로 발육을 완료하는 일별 개체수를 추정한 단면곡선은 그림 7과 같았다. 저온에서는 알 집단이 지연되어 서서히 약층으로 전이되었으며, 고온으로 갈수록 조기에 짧은 기간 내에 전이되었다.



Table 3. Longevity and fecundity (Mean  $\pm$  SE) of overwintered *S. dorsalis* females on green tea at constant temperatures

Temperature (°C)	n	Longevity (Days)	Fecundity (No. eggs per female)
13	9	44.7 $\pm$ 2.21 ab <sup>1</sup>	31.6 $\pm$ 1.23 abc
17	10	37.3 $\pm$ 1.44 abc	41.2 $\pm$ 1.06 abc
21	10	28.3 $\pm$ 1.27 abcd	52.6 $\pm$ 2.80 ab
25	6	22.0 $\pm$ 2.24 bcd	45.3 $\pm$ 5.62 ab
29	8	17.8 $\pm$ 0.66 cd	42.6 $\pm$ 2.16 abc
33	8	9.9 $\pm$ 0.31 cd	13.9 $\pm$ 0.64 bc

<sup>1</sup>Means followed by same letters in a column are not significantly different by Tukey test ( $P=0.05$ ).

Table 4. Egg incubation period (Mean  $\pm$  SE) and hatch rate of *S. dorsalis* females in green tea at constant temperatures

Temperature (°C)	n	Egg period (Days)	Egg hatch rate
13	31	28.41 $\pm$ 0.94a <sup>1</sup>	0.94
17	60	14.11 $\pm$ 0.18b	0.95
21	145	9.73 $\pm$ 0.08c	0.99
25	80	6.86 $\pm$ 0.08d	1.00
29	75	5.14 $\pm$ 0.08e	0.99
33	44	5.55 $\pm$ 0.39e	0.48

<sup>1</sup>Means followed by same letters in a column are not significantly different by Tukey test ( $P=0.05$ ).

Table 5. Estimated parameter values for adult longevity completion rate(1/longevity), temperature-dependent total fecundity, age-specific oviposition rate, and age-specific survival rate of *S. dorsalis*

Model	Parameter	Estimated	SEM	R <sup>2</sup>
Adult development (1/longevity)	$\alpha$	0.00224	0.00020	0.99
	$\beta$	4.99629	2.01368	
Total fecundity	$a$	52.1083	4.38444	0.87
	$b$	21.7636	0.83685	
	$c$	8.1195	1.10687	
Age-specific oviposition rate	$\kappa$	0.5342	0.00464	0.98
	$\eta$	1.4737	0.02813	
Age-specific survival rate	$\gamma$	0.9999	0.02060	0.94
	$\delta$	0.1727	0.01852	

Table 6. Developmental threshold temperatures and thermal requirements for the development completion of *S. dorsalis*

Stage	Regression		Low-threshold Temp.(°C)	Thermal constant, DD <sup>b</sup>
	Equation <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>		
Eggs	$y=0.009848x-0.096936$	0.99	9.8	101.5
Adult longevity	$y=0.003529x-0.033194$	0.83	9.4	283.4

<sup>a</sup> $y=ax+b$  where  $y$  is the developmental rate (1/days) and  $x$  is the temperature.

<sup>b</sup>DDs were reciprocal of slopes of each regression equation.

Table 7. Estimated parameter values for egg development model and distribution model of development time of *S. dorsalis*

Model	Parameter	Estimated	SEM	R <sup>2</sup>
Development model (Lactin 2 model)	$\rho$	0.1595	0.02400	0.99
	$T_{max}$	36.9873	1.02705	
	$\Delta$	6.2598	0.93393	
	$\lambda$	-0.0085	0.02230	
Distribution model of development time (Weibull function)	$\omega$	0.8482	0.01156	0.92
	$\epsilon$	8.6938	1.28593	

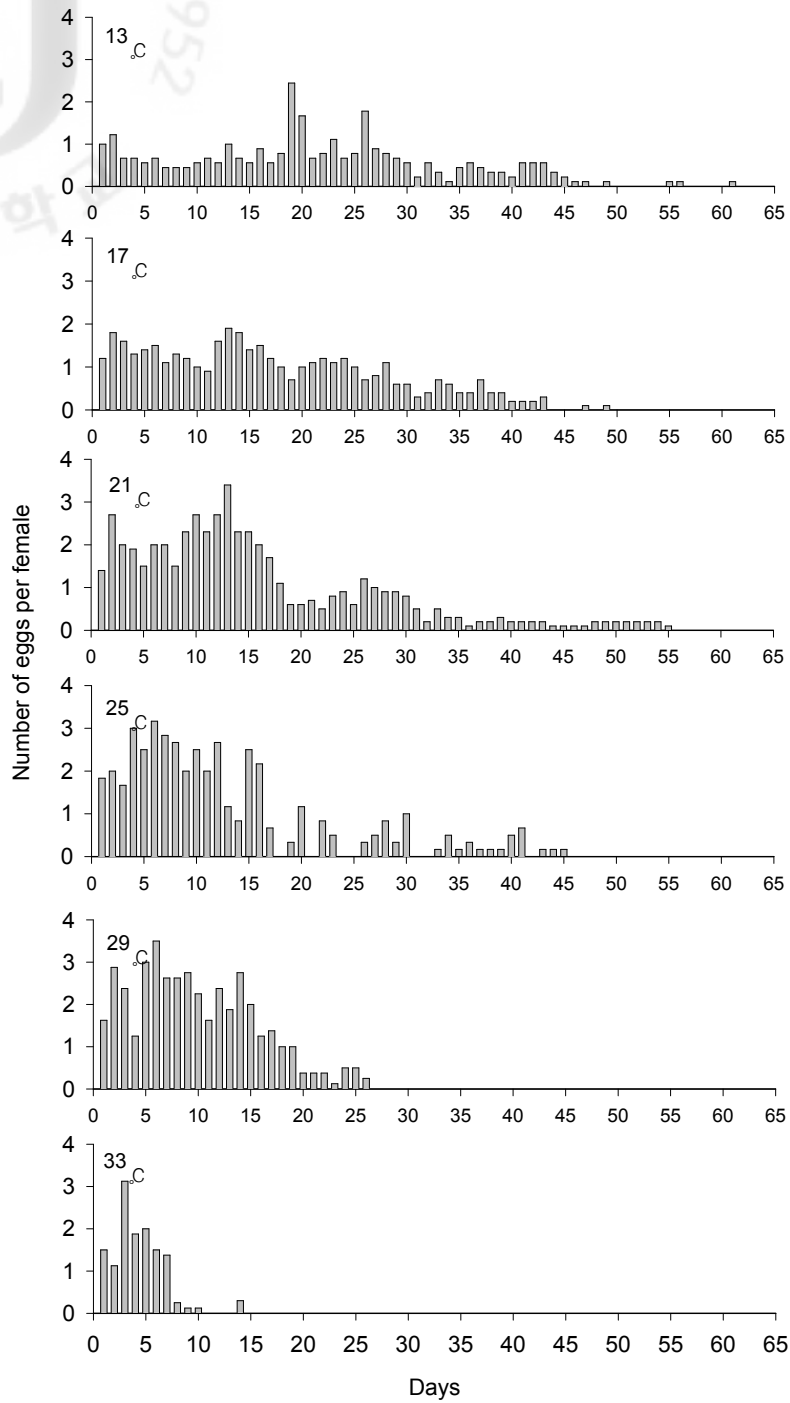


Fig. 3. Oviposition frequency distribution of overwintered *S. dorsalis* females on leaf of green tea.

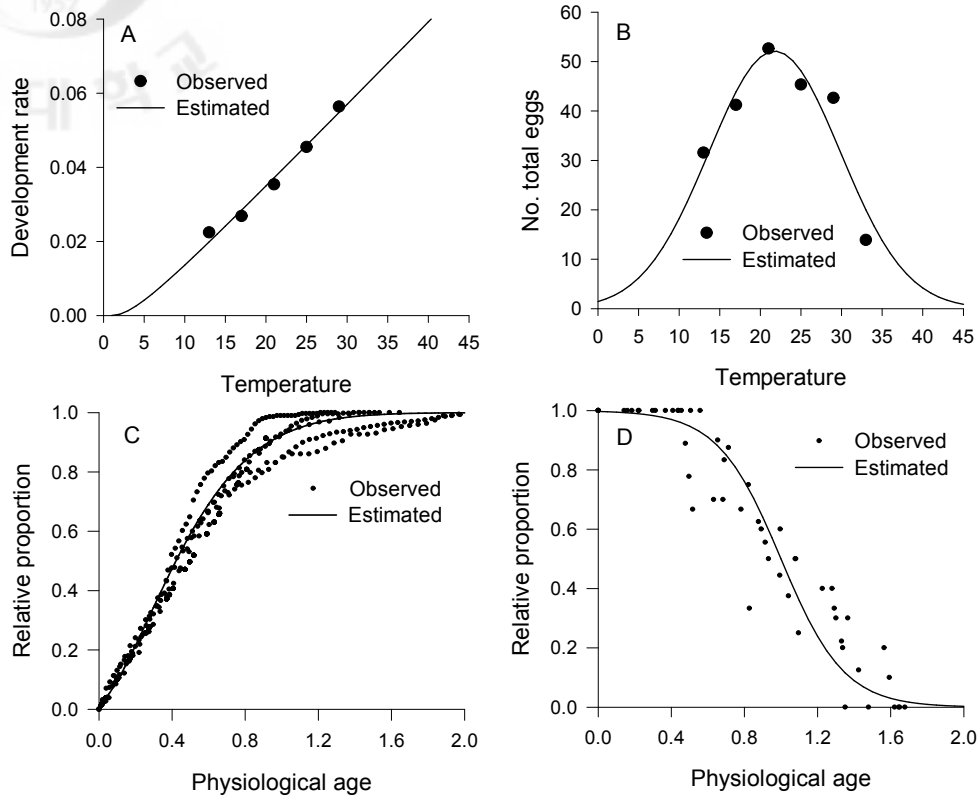


Fig. 4. Component models for oviposition model of *S. dorsalis*. A = Adult longevity completion rate, B = Temperature-dependent total fecundity, C = Age-specific cumulative oviposition rate, and D = Age-specific survival rate.

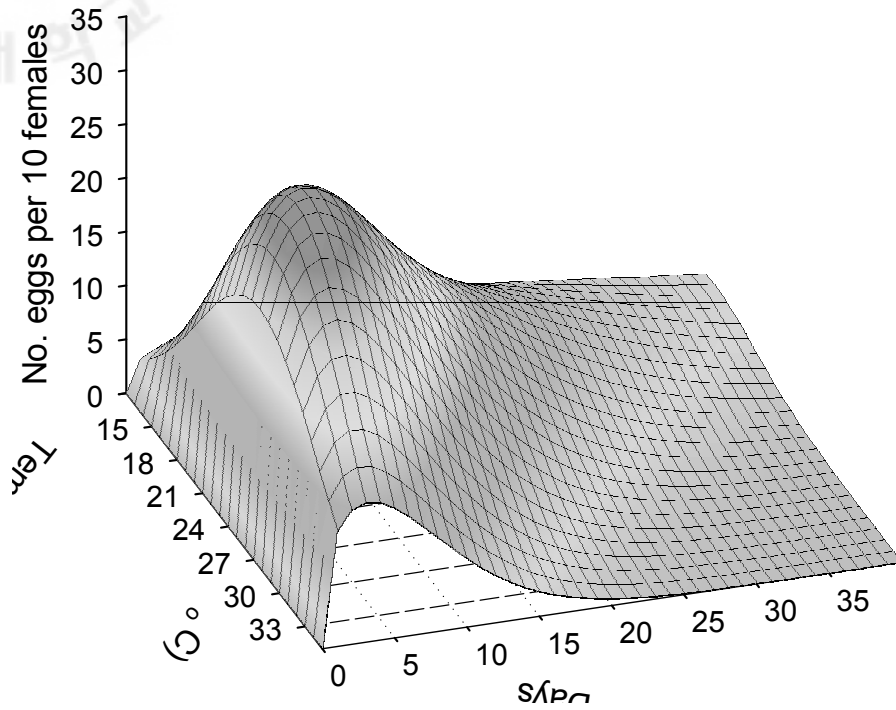


Fig. 5. Predicted oviposition density curves of *S. dorsalis* in relation to cohort age and temperature.



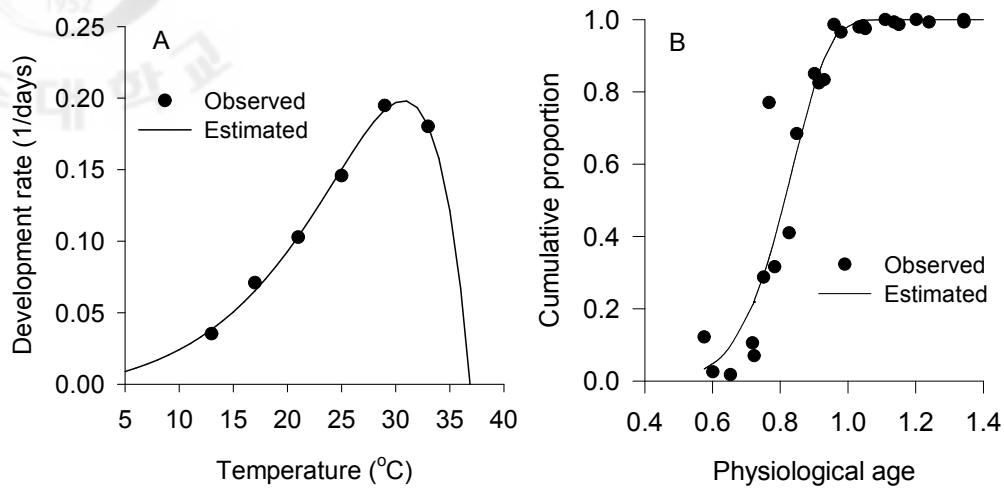


Fig. 6. Development rate curve (A) and cumulative proportions of development completion (B) of *S. dorsalis* eggs.

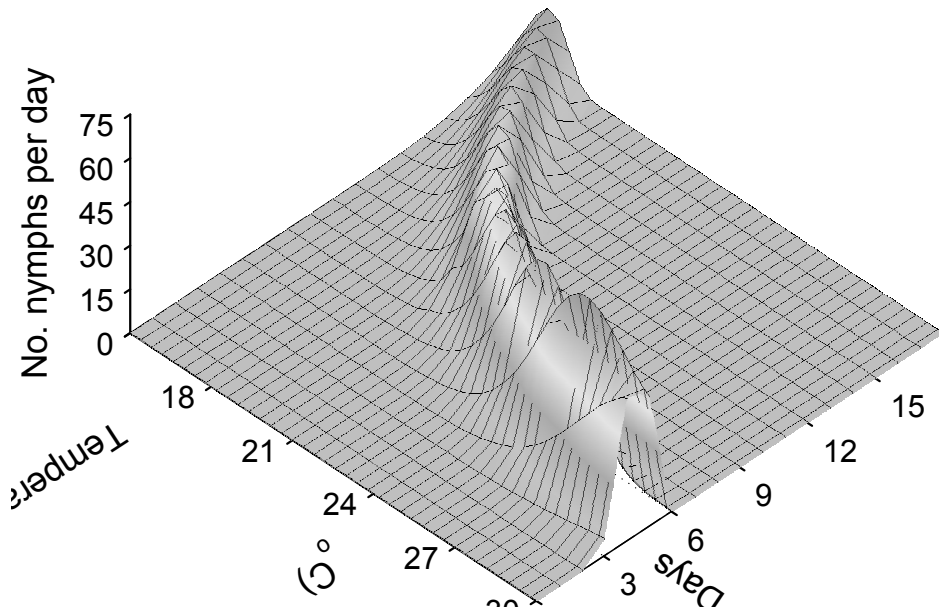


Fig. 7. Predicted emergence curves of *S. dorsalis* eggs to the next stage of 1st larvae in relation to cohort age and temperature.

## 5. 산란모형 모의실험 및 포장적합

월동성충 산란모형을 이용하여 산란수를 추정하고 실제 포장 관측 값과 비교한 결과 그림 8의 A와 같았다. 또한 산란모형으로 추정된 일별 산란수 및 알 발육단계 전이모형으로 추정된 일별 1령 약충수는 그림 8의 B에 나타나 있다. 알 개체군의 발생양상은 실측치와 예측치 간 큰 차이 없이 비슷하였으며, 다만 약 4일 정도 지연되어 예측되었다.

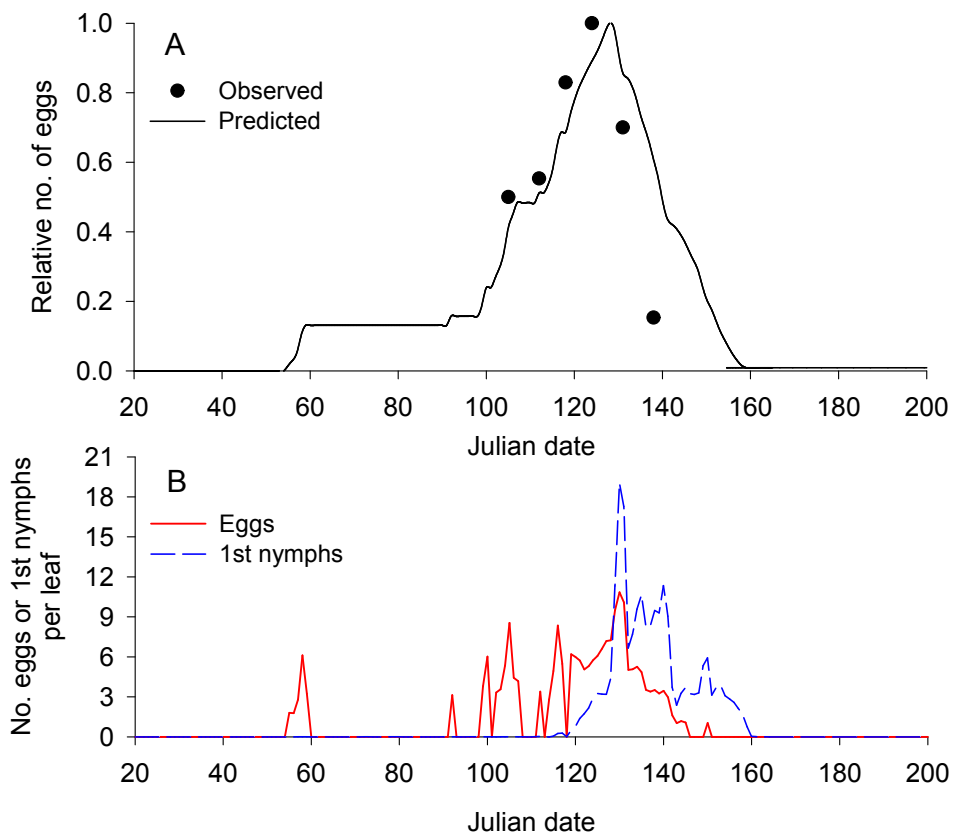


Fig. 8. Comparison of model outputs with actual field egg population of *S. dorsalis* (A). The simulation outputs and actual data were scaled as ratios against the peak numbers. Figure B indicates the number of eggs and 1st nymphs produced per day by the model.

## V. 고 찰

휴지상태에 있는 볼록총채벌레 월동성충은 봄철 기온이 따뜻해지면 활동을 시작하여 3월 하순경 앞으로 이동하고, 4월말까지 생존하며 산란을 하는 것으로 보고되었는데(Okada and Kudo, 1982a), 본 연구에서도 평년의 기상에 해당되는 2010년 기존의 일본 보고와 비슷한 4월 상순부터 4월 하순 월동성충의 활동이 관찰되었다. Masui(2007b)는 차에서 월동성충의 난소소관에서 3월 하순에서 4월 상순 성숙한 알이 발견되는 것으로 보고한 바 있는데, 2011년 제주에서 월동성충의 산란은 4월 상순에서 5월 중순에 나타났다. 일본에서 1세대 유충은 4월 상순에서 5월 중순에 발생한다고 보고되었는데(Masui, 2007b), 제주에서는 첫 번째 1령 유충이 4월 하순(4월 28일) 발견되었고 5월 중순까지 관찰되어 기존 보고와 거의 일치하였다. 알 개체군의 발생최성기는 6월 중순, 7월 하순 및 8월 하순에 뚜렷하게 나타났는데 발생세대라기 보다는 녹차의 신초발생과 관련이 된 것으로 보인다. 즉 볼록총채벌레는 어린 조직에 알을 낳기 때문에 신초발생기에 알 밀도가 증가할 수 있다. 지금까지 볼록총채벌레의 알 개체군 동태에 대한 자료가 전무하였으나 본 연구에서 계절초기 알 발생시기를 구체적으로 구명하였다.

일본 감귤원에서 발육영점온도 9.7℃를 적용하여 적산온도를 계산했을 때 월동세대 성충은 60~90DD, 1세대 성충은 400~460DD, 3세대 성충은 700~750DD에 발생한다고 보고하였는데(Tatara, 1994), 제주 표선(한남)의 기상 자료를 이용하여 1월 1일부터 적산온도를 계산해본 결과 일치하지 않아 향후 검토가 필요하다고 생각된다. 어쨌든 2010년 5월 상순에서 하순 나타난 두 번째 성충 고봉은 1세대 성충으로 판단된다.

볼록총채벌레 월동성충의 산란에 대한 기존 연구 자료는 지금까지 보고된 바 없다. 따라서 생육기 성충의 산란자료와 비교하였다. Tatara(1994)의 보고와 비교 가능한 온도인 25℃에서 녹차를 이용한 본 연구의 산란수 및 성충수명은 기존 연구의 녹차보다는 오히려 아왜나무를 기주식물로 하여 얻은

자료와 비슷하였다(표 2과 3). 최고 산란수는 Tatar(1994)의 연구에서 19℃에서 나타났는데, 본 연구에서는 21℃에서 관찰되었고 산란수도 크게 차이가 없었다. 이런 점으로 유추해 볼 때 볼록총채벌레 월동성충은 20℃ 전후에서 최대 산란수를 보이는 것으로 판단된다. 전체적으로 볼 때 월동성충의 산란수는 기존 보고된 생육기 성충의 산란수와 다소 차이가 있었으며, 더 많은 경향이 있었다. 비록 지역 계통이나 먹이 또는 실험환경에 따라서 총채벌레류의 산란수는 차이가 있으나(Hajar et al., 2012), 본 자료는 볼록총채벌레 개체군 모형에서 월동성충의 산란모형 작성에 유용하다고 판단된다.

볼록총채벌레는 전세계적으로 다양한 작물에서 중요한 해충으로 취급되고 있으나 개체군 발생(phenology) 및 모형 개발에 필요한 온도발육 매개변수가 현재까지 보고되지 않은 상태에 있다. 다만, Masui(2008)가 발육영점온도 9.7℃(Tatar, 1994)를 적용하여 발생세대수(x)에 따른 적산온도(y)가 'y=70.67+314.92x' 임을 제시하였다.

본 연구에서는 볼록총채벌레 월동성충의 산란모형에 필요한 모든 온도관련 매개변수를 추정하였다. 곤충의 산란모형(생식모형)은 온도별 총산란수, 연령별 산란율, 연령별 생존율 등 3개의 단위모형으로 구성할 수 있다(Curry and Feldman, 1987). 이때 변온조건에서 산란율 및 생존율 모형을 구현하려면 온도 의존적인 성충의 연령(즉 일령, 日齡)을 온도와 독립된 생리적 연령으로 변화시켜야한다. 본 연구에서는 볼록총채벌레 월동성충 수명의 역수값을 성충발육율(성충수명 완료율)로 취급하여 성충의 생리적 연령 추정에 이용하였다. 또한 온도별 총산란수 모형뿐만 아니라 성충의 생리적연령에 기반하여 연령별산란률 및 생존률모형을 제시하였다. 본 자료를 이용하여 변온조건에 해당온도에서 굴응애의 산란능력(총 산란수)을 계산하고, 여기서 해당 단위시간 동안 볼록총채벌레 생리적연령에 대응하는 산란율과 생존율 부분을 추정할 수 있는 산란모형을 작성하였다. 이러한 접근방법은 복숭아심식나방 산란모형 작성에 사용된 Kim and Lee(2003a)의 방법과 동일하다.

본 연구에서 추정한 볼록총채벌레 알 발육단계 전이모형은 발육률 적

산을 통하여 다음 발육단계로 전이되는 개체수를 정량적으로 추정할 수 있다 (Kim et al., 2001). 이론적으로 알 발육률을 누적하여 생리적연령이 '1'이 되는 시점은 전체 개체군 중 50%가 발육을 완료하는 시점이 되며, 생리적연령에 따른 발육완료분포 모형을 활용하여 발육을 완료하는 개체수의 비율을 추정한다. 이 알 발육단계 전이모형도 볼록총채벌레 개체군 모형 작성하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

산란모형의 포장적합에서 모형 예측값이 실측값에 비하여 4일정도 지연되었다. 산란모형의 모의실험은 월동성충의 생리적 연령을 '0'로 가정하고 실시하였다. 월동성충의 생리적 연령의 변화에 따른 모형결과의 민감도 (sensitivity)를 구명하기 위하여 생리적 연령을 0.0으로부터 0.4까지 0.1 만큼씩 증가시켜서 비교하였다(그림 9). 그 결과 생리적 연령 0.1과 0.2 사이에서 실측치와 정확도가 높았다. 이 원인은 3월 하순 채집한 월동성충의 산란자료를 산란모형을 작성하였기 때문으로 보인다. 즉 그 때까지 월동성충의 발육영점온도 9.4℃ 이상의 날이 존재하였고, 생리적 연령으로 환산하면 약 0.1645가 되었다. 이 값은 민감도 분석의 결과와 대략 일치한다. 따라서 본 모형을 포장에 적용하려면 월동성충의 생리적 연령을 0.1645로 가정하고 구동시켜야 할 것이다. 본 연구에서 개발된 볼록총채벌레 월동성충의 산란모형은 알 발육단계 전이모형과 연계하여 포도 또는 녹차 같은 작물에서 계절초기 방제시기를 결정하는데 유용하게 이용될 수 있다. 뿐만 아니라 향후 볼록총채벌레 개체군 모형의 중요한 모듈로 활용될 것이다.

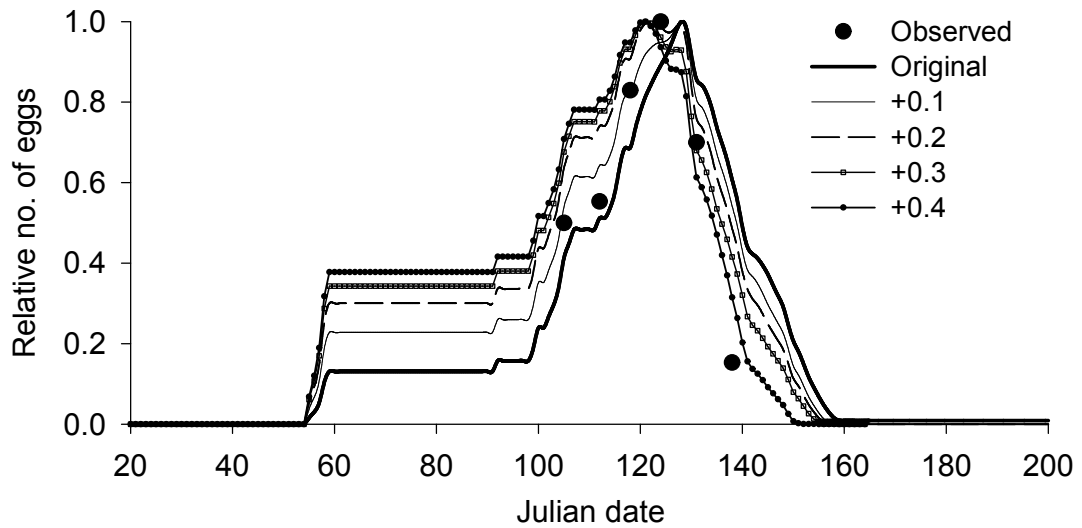


Fig. 9. Sensitivity of model outputs to physiological age state of overwintered females of *S. dorsalis*. The physiological age was increased from 0.0 (original) to 0.4 by 0.1 scale.

## 적 요

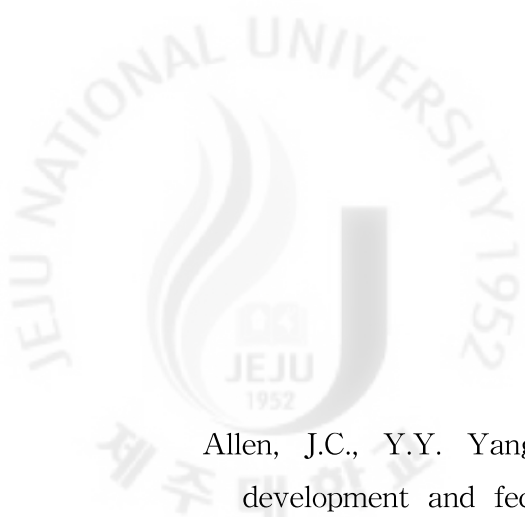
불록총채벌레는 동남아시아 아열대 및 열대기후의 감귤에서 관건해충(key pest) 해충으로 취급되고 있으며, 지구온난화에 따라 발생이 증가할 수 있는 해충으로 추정하고 있다. 향후 지구온난화로 제주도의 아열대성 기후가 강화됨에 따라 감귤에 심한 피해를 줄 것으로 예측되고 있다. 따라서 본 연구는 불록총채벌레 개체군 모형을 작성에 활용하고자 월동성충의 온도별 산란특성을 구명하고 산란모형을 작성하고자 수행하였으며, 포장발생소장을 조사하였다.

불록총채벌레 월동성충은 4월 상순에서 4월 하순에 발생하였다. 새로운 성충 즉 1세대 성충은 5월 상순에서 5월 하순 사이에 나타났다. 2세대 발생 최성기는 6월에 나타났고 그 이후에는 세대가 심하게 중복되었다. 월동성충이 생산한 알 개체군은 4월 상순에서 5월 중순에 나타났으며 5월 상순이 발생 최성기를 보였다. 첫 번째 1령 유충은 4월 하순 발견되었고 5월 중순까지 발생을 보였다.

불록총채벌레 월동성충의 온도별 산란실험결과 온도에 따라서 성충의 수명, 생존 및 산란수가 큰 영향을 받았다. 전체적으로 온도의 증가에 따라 수명은 감소하였으며, 성충 발육율(1/수명)은 Eyring의 모형으로 잘 설명되었고, 성충의 생리적 연령을 계산하는데 유용하였다. 성충의 발육영점온도는 9.4°C로 추정되었다. 총산란수는 21°C에서 최대값을 보였고 그 이상의 온도에서는 지속적으로 감소하였다. 온도와 산란수와의 관계는 비선형식으로 잘 표현되었다. 연령별 누적산란율은 2개의 매개변수를 갖는 Weibull 함수로 잘 적합되었다. 월동성충의 연령별 생존율은 역의 로지스틱 형태를 나타냈다. 온도별 총산란수, 연령별 누적산란율 및 연령별 생존률 등 3개의 온도 의존적 단위모형을 합하여 산란모형을 작성하였다. 또한 알 발육모형과 발육완료 분포모형을 이용하여 알 발육단계 전이모형을 작성하였다. 산란모형과 알 발육단계 전이모형을 이용하여 초기 알 개체군을 추정하는 결과 실측자료와 유사한 양상을 보였



고, 다만 예측치가 실측치보다 4일 정도 지연되어 발생하였다. 월동성충의 생리적연령에 따른 모형값의 민감도 분석결과 생리적 연령 1.0과 2.0 사이에 모형의 적합도가 높았다. 보정된 월동성충의 생리적 연령(0.1645)을 적용하는 경우 월동성충의 산란시기를 합리적으로 예측할 수 있을 것으로 기대되었다. 본 연구에서 개발된 산란모형은 향후 불록총채벌레 개체군 모형의 중요한 모듈로 이용 가능하였고, 알 발육단계 전이모형과 연계하여 포도 또는 녹차 같은 작물에서 계절초기 방제시기를 결정하는데 유용할 것으로 판단된다.



## VI. 인 용 문 헌

- Allen, J.C., Y.Y. Yang, and J.L. Knapp. 1995. Temperature effects on development and fecundity of the citrus rust mite (Acari: Eriophyidae). *Environ. Entomol.* 24: 996-1004.
- APHIS. 1994. NPAG Data: *Scirtothrips dorsalis* chilli (Assam) thrips. USDA-APHIS-PPQ, Center for Plant Health Science and Technology, Raleigh, NC.
- Bartlett, P.W. and A.W.A. Murray. 1986. Modeling adult survival in the laboratory of diapause and non-diapause colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) from Normandy, France. *Ann. Appl. Biol.* 108: 487-501.
- Birley, M. 1977. The estimation of insect density and instar survivorship functions from census data. *J. Anim. Ecol.* 46: 497-510.
- Brown S.H. and L.S. Osbourne. 2008. Chilli Thrips (*Scirtothrips dorsalis*): A Landscaper's Guide. University of Florida. IFAS.
- CABI. 2005. Crop Protection Compendium. Wallingford, UK, CAB International.
- Clements, A.N. and G.D. Paterson. 1981. The analysis of mortality and survival rates in wild populations of mosquitoes. *J. Appl. Ecol.* 18: 373-399.
- Curry, G.L. and R.M. Feldman. 1987. Mathematical Foundations of Population Dynamics. Mono. Ser. 3. Tex. Eng. Exp. Stn., College Station, TX.
- Dev, H.N. 1964. Preliminary studies on the biology of the Assam thrips,

*Scirtothrips dorsalis* Hood, on tea. Indian Journal of Entomology 26: 184-194.

EPPO/CABI. 2003. *Scirtothrips dorsalis*. Data Sheets on Quarantine Pests. In: Quarantine Pests for Europe. 2nd edition. No. 142. CAB International, Wallingford, UK.

Eyring, H. 1935. The activated complex in chemical reactions. J. Chem. Phys. 3: 107-115.

Hajar, P, A.M. Masood and D.S. Kim. 2012. Oviposition model of *Scolothrip slongicornis* fed on two-spotted spider mite. J. Insect Sci. (in press).

Hilbert, D.W. and J.A. Logan. 1983. Empirical model of nymphal development for migratory grasshopper, *Meldnoplus sanguinipes* (Orthoptera: Acrididae). Environ. Entomol. 12: 1-5.

Hodges, G., G.B. Edwards and W. Dixon. 2005. Chilli thrips *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) A New Pest Thrips for Florida. Florida Department of Agriculture and Consumer Service, Department of Primary Industries. On-line publication at <http://www.doacs.state.fl.us/pi/enpp/ento/chillithrips.html>.

Holtz, T. 2006. NPAG (New Pest Advisory Group) Report, *Scirtothrips dorsalis* Hood: Chilli Thrips. 7 pp. USDA-APHIS-PPQ, Center for Plant Health Science and Technology, Raleigh, NC.

Hyun, J.W. 2008. Survey for citrus pests, pp. 551-565. In Annual Research Report for 2008, Jeju Citrus Research Station, RDA, Jeju, Korea (in Korean).

Jandel Scientific. 1996. TableCurve 2D. Automated curve fitting and

equation discovery: version 4.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.

Jeon H.Y., D.S. Kim, M.R. Cho, M.S. Yiem and Y.D. Chang. 2000. Recent status of major fruit tree pest occurrences in Korea. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41: 607-612 (Korean with an English Abstract).

Kim, D.H., H.M. Kwon and K.S. Kim. 2000. Current status of the occurrence of the insect pests in the citrus orchard in Cheju Island. Korean J. Appl. Entomol. 39: 267-274.

Kim, D.S., J.H. Lee and M.S. Yiem. 2001. Temperature-dependent development of *Carposina sasakii*(Lepidoptera: Carposinidae), and its stage emergence models. Environ. Entomol. 30: 298-305.

Kim, D.S. and J.H. Lee. 2003a. Oviposition model of overwintered adult *Tetranychus urticae*(Acari: Tetranychidae) and mite phenology on the ground cover in apple orchards. Exp. Appl. Acarol. 31: 191-209.

Kim, D.S. and J.H. Lee. 2003b. Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). Eco. Model. 162: 145-153.

Kim, D.S, K.S. Choi, Y.S. Jang and J.H. Song., 2009. The effects of elevated temperatures on the population phenology and abundance of citrus pests in Jeju, Korea. International Symposium on Climate Change and Insect Pest, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Republic of Korea. 28-30 October, 2009.

Kwon, O.K. 1990. Studies on taxonomy and distribution of thrips (Thysanoptera) collected from Mt. Halla in Cheju Island. Ph.D. Thesis, Cheju National University. 75pp.

Lactin, D.J., N.J. Holliday., D.L. Johnson and R. Craigen. 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. Environ. Entomol. 24: 68-75.

- Mack, T.P., J.W. Smith Jr. and R.B. Reed. 1987. A mathematical model of the population dynamics of the lesser cornstalk borer, *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae). *Ecol. Model.* 39: 269–286.
- Mack, T.P. and W. Smith Jr. 1992. Modeling insect recruitment. In: Goodenough, J.L., McKinion, J.M. (Ed.), *Basics of Insect Modeling*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 155–169.
- Madden, L.V., L.R. Nault, S.E. Heady and W.E. Styer. 1986. Effect of temperature on the population dynamics of three *Dalbulus leafhopper* species. *Ann. Appl. Biol.* 108: 475–485.
- Masui, S. 2007a. Synchronism of immigration of adult yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) to citrus orchards with reference to their occurrence on surrounding host plants. *Appl. Entomol. Zool.* 42: 517 - 23.
- Masui, S. 2007b. Oviposition time of overwintered adults of yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 51: 289 - 91 (in Japanese with English summary).
- Masui, S. 2008. Estimation of the immigration time of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) adults in citrus orchards as a function of the total effective temperature. *Appl. Entomol. Zool.* 43: 511 - 517.
- Nietschke, B.S., D.M. Borchert, R.D. Magarey and M.A. Ciomperlik. 2008. Climatological potential for *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) establishment in the United States. *Flor. Entomol.* 91: 79–86.
- Ohkubo, N. 2001. Host preference and infestation process on citrus of yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood. *Bull. Nagasaki Fruit Tree Exp. Stn.* 8: 1 - 3 (in Japanese with English summary).

- Okada, T., and I. Kudo. 1982a. Overwintering sites and stages of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) in Tea fields. Jap. J Appl. Entomol. Zool. 26: 177-182.
- Okada, T. 1981. Searching behavior for pupation place by late second instar larvae of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae). Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 25: 10-16 (in Japanese with English summary).
- Raizada, U. 1965. The life history of *Scirtothrips dorsalis* with detailed external morphology of its immature stages. Bull. Ent. 6: 30-49.
- Readshaw, J.L. and A.C.M. Van Gerwen. 1983. Age-specific survival, fecundity and fertility of the adult blowfly in relation to crowding, protein food and population cycles. J. Anim. Ecol, 52: 879-887.
- Richards, F.J., 1959. A flexible growth function for empirical use, J. Exp. Bot. 10: 290-300.
- Seal, D.R. and W. Klassen. 2005. Chilli thrips (castor thrips, Assam thrips, yellow tea thrips, strawberry thrips), *Scirtothrips dorsalis* Hood, No. ENY-725 (IN638). Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. ENY-725 (IN638)
- Shaffer, P.L. and H.J. Gold. 1985. A simulation model of population dynamics of the codling moth, *Cydia pomonella*. Ecol. Model. 30, 247-274.
- Shibao, M., F. Tanaka and F. Nakasuji. 1990. Seasonal changes and infestation sites of the chillie thrips, *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) on grapes. Jap. J Appl. Entomol. Zool. 34: 145-152.
- Shibao, M. 1996. Effects of temperature on development of the Chillie Thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae), on grape.

Appl. Entomol. Zool. 31: 81-86.

Smith, D. and J.E. Pena. 2002. Tropical citrus pests. pp. 57-101. *In* Tropical fruit pests and pollinators, Biology, economic importance, natural enemies and control, eds. by J.E. Pena, J.L. Sharp and M. Wysoki. 430 pp. CAB International, UK.

Tatara, A. 1994. Effect of temperature and host plant on the development, fertility and longevity of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae). Appl. Entomol. Zool. 29: 31-37.

Taylor, F. 1981. Ecology and evolution of physiological time in insects. Am. Nat. 117: 1-23.

Tsuchiya, M. and M. Nishino. 1984. Seasonal trend of the infestation and oviposition of tea yellow thrips (*S. dorsalis* Hood) on the sprouts and the fruits of Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu* Marco.). Bull. Shizuoka Citrus Exp. Sta. 20: 53-672.

Venette, R.C. and E.E. Davis. 2004. Chilli thrips/yellow thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) Mini Pest Risk Assessment. Univ. of Minnesota, St. Paul, MN. 31 pp.

Wagner, T.L, H.I. Wu, P.J.H. Shrape and R.N. Coulson. 1984. Modeling distribution of insect development time: a literature review an application of Weibull function. Ann. Entomol. Soc. Am. 77: 475-487.

Woo, K.S. and W.H. Paik. 1971. Studies on the thrips (Thysanoptera) unrecorded in Korea I. Kor. J. Pl. Prot. 10: 69-73.

Woo, K.S. and W.H. Paik. 1972. Studies on the thrips (Thysanoptera) unrecorded in Korea II. Kor. J. Pl. Prot. 11: 45-54.

## 감사의 글

2년전 호기심과 열정만으로 대학원에 입학했을 때의 기억이 떠오릅니다. 그동안 많은 어려움과 두려움이 있었지만 그 때마다 도와주신 모든 분들에게 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

먼저 2년 동안 한없이 부족하기만 한 제자를 지켜봐주시고 지도해주신 김동순 지도교수님께 깊이 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 부족한 저의 논문을 심사해주신 강영길 교수님, 송창길 교수님, 논문에 관심을 갖고 지도해주신 현해남 교수님, 전용철 교수님, 김주성 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

이번 연구는 농촌진흥청 아젠다 과제 ‘지리정보시스템 및 IT 기반 현장 밀착형 돌발 병해충 예찰모형 개발’의 세부과제 ‘감귤 불룩충채벌레, 화살까지벌레, 꾀응애 개체군 모형 개발’의 과제 연구비로 수행되었으며 연구를 수행하는데 필요한 시험포장과 많은 격려를 해주신 서귀포농업기술센터 현원화 소장님, 정대천 계장님, 서귀포 한남다원 김용철 소장님을 비롯한 모든 직원분들께 진심으로 감사드립니다.

많은 관심과 진심어린 조언으로 이 논문을 쓰는데 도와주신 제주도 농업기술원 송정흡 박사님, 그리고 이번 연구에 있어서 가장 많은 도움을 준 곤충생태학실험실 식구 장용석, 김용근, 현승용, 양경식, 이영돈 선배님과 친구인 전호웅, 그리고 양진영, 성영훈, 김수빈, 민동원 후배님 최경산, 황록연 연구사님 모두 고맙고 감사합니다. 이 논문이 나올 수 있도록 묵묵히 도와주신 학과조교 송진영·하영삼 선생님 그리고 마지막까지 조언과 격려해주신 김찬우 박사님께도 고마운 마음을 전합니다.

지금은 서로 떨어져 있지만 힘들 때마다 도움을 준 친구 대엽, 승주, 영륜, 희철, 세훈, 세현, 현명, 영재에게 고맙고 항상 저를 믿어주고 멘토가 되어 주는 순녀누나, 현희누나에게도 고마운 마음을 전합니다.

마지막으로 동생의 앞날을 항상 걱정해주는 누나와 매형, 귀여운 동생, 그리고 첫 조카인 민유에게 고맙고, 부족한 아들을 위해 항상 애쓰시고 걱정해주신 사랑하는 아버지, 어머니께 감사드리며 이 논문을 바칩니다.